



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/09.17.11.51-NTC

**COMBUSTÍVEL À BASE DE ETANOL E
ETANOLAMINA, HIPERGÓLICO COM O PERÓXIDO
DE HIDROGÊNIO, PARA EMPREGO EM MOTOR
FOGUETE**

Leandro José Maschio
Ricardo Vieira

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RRG9U2>>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/09.17.11.51-NTC

**COMBUSTÍVEL À BASE DE ETANOL E
ETANOLAMINA, HIPERGÓLICO COM O PERÓXIDO
DE HIDROGÊNIO, PARA EMPREGO EM MOTOR
FOGUETE**

Leandro José Maschio
Ricardo Vieira

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RRG9U2>>

INPE
São José dos Campos
2018



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Título: Combustível à base de etanol e etanolamina, hipergólico com o peróxido de hidrogênio, para emprego em motor foguete.

Autores: Leandro José Maschio e Ricardo Vieira.

Descrição do campo da invenção: Propulsores a bipropelente hipergólicos são empregados, frequentemente, como motores de últimos estágios de veículos lançadores e como motores de transferência de órbitas de satélites. Os propelentes líquidos mais empregados, atualmente, nestes tipos de motores são a hidrazina e seus derivados como combustível e, o tetróxido de nitrogênio como oxidante. No entanto, todos estes propelentes são importados, extremamente caros e altamente tóxicos. Ultimamente, em função da crescente preocupação quanto à segurança ambiental, tem sido despertado um grande interesse por propelentes líquidos estocáveis e não tóxicos (*green propellants*). O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é um dos mais importantes candidatos para aplicação como oxidante em sistemas propulsivos limpos (não tóxicos) e de baixo custo. Infelizmente, a escolha de um combustível para fazer um par com o H_2O_2 não é tão simples. Alguns fatores devem ser levados em consideração nesta escolha, tais como: hipergolicidade, tempo de indução, toxicidade e custo.

Descrição do estado da técnica: O Centro Naval de Armas de Guerra Aérea dos EUA (US Naval Air Warfare Center) desenvolveu um combustível não tóxico chamado *Block 0*, composto de uma suspensão coloidal de óxido de manganês em metanol. O combustível é totalmente miscível e hipergólico com o H_2O_2 concentrado (Purcell *et al.*, 5th International Hydrogen Peroxide Propulsion Conference, USA, 2002). Mais tarde, um grupo de pesquisa da Universidade de Purdue (Pourpoint; Anderson, Combustion Science and Technology, 179, 2007) estudou o efeito da pressão e da concentração do H_2O_2 no tempo de indução da reação com o *Block 0*. Os autores observaram que a redução da pressão atmosférica e da concentração do H_2O_2 aumentava, significativamente, o tempo de indução desta reação. Também foi observado que o aumento da concentração do catalisador no combustível reduz o tempo de indução. Contudo a quantidade de catalisador empregada no *Block 0* é

muito elevada (10 a 30% em peso), inviabilizando seu emprego em certas aplicações, seja pelo custo, pela possível sedimentação do catalisador no reservatório, em função do tempo, ou por eventuais incrustações na garganta da tubeira do motor foguete, engendrada pela combustão do propelente carregado em sais. Melof e Grubelich (37th Joint Propulsion Conference and Exhibit: AIAA, 2001) testaram uma variedade de combustíveis como pares hipergólicos do H₂O₂ 90%, sendo o melhor resultado obtido com o emprego da etanolamina promovida com cloreto de cobre (CuCl₂).

Sumário: Esta invenção propõe a adição de etanol a etanolamina com o objetivo de reduzir o tempo de indução da reação hipergólica e incrementar a eficiência do combustível elevando o impulso específico do sistema. Foi efetuado um estudo para a otimização da concentração do álcool e do catalisador no combustível. Dentre os catalisadores testados o nitrato de cobre foi aquele que apresentou o melhor desempenho. A proporção mássica ideal dos constituintes do combustível foi de 61% de etanolamina e 30% de etanol e 9% de sal de cobre. Este combustível é hipergólico com o H₂O₂ 90% apresentando um tempo de indução de 13 ms.

Breve descrição da figura: O invento consiste, basicamente, na preparação de um combustível para motor foguete contendo de 50 a 70% em massa de etanolamina, mais preferencialmente 60%; de 20 a 40% de etanol, preferencialmente 30% e; acima de 5% em massa de sais de cobre. Podem ser empregados cloretos, nitratos, sulfatos, acetato e sais orgânicos de cobre, manganês, cobalto, ferro e níquel, mais preferencialmente 9% de nitrato de cobre. Este combustível reage hipergolicamente com o H₂O₂ 90%. A Figura mostra uma imagem de um motor foguete com empuxo teórico de 50 N, operando com H₂O₂ 90% e uma mistura de etanol/etanolamina/Cu(NO₃)₂.

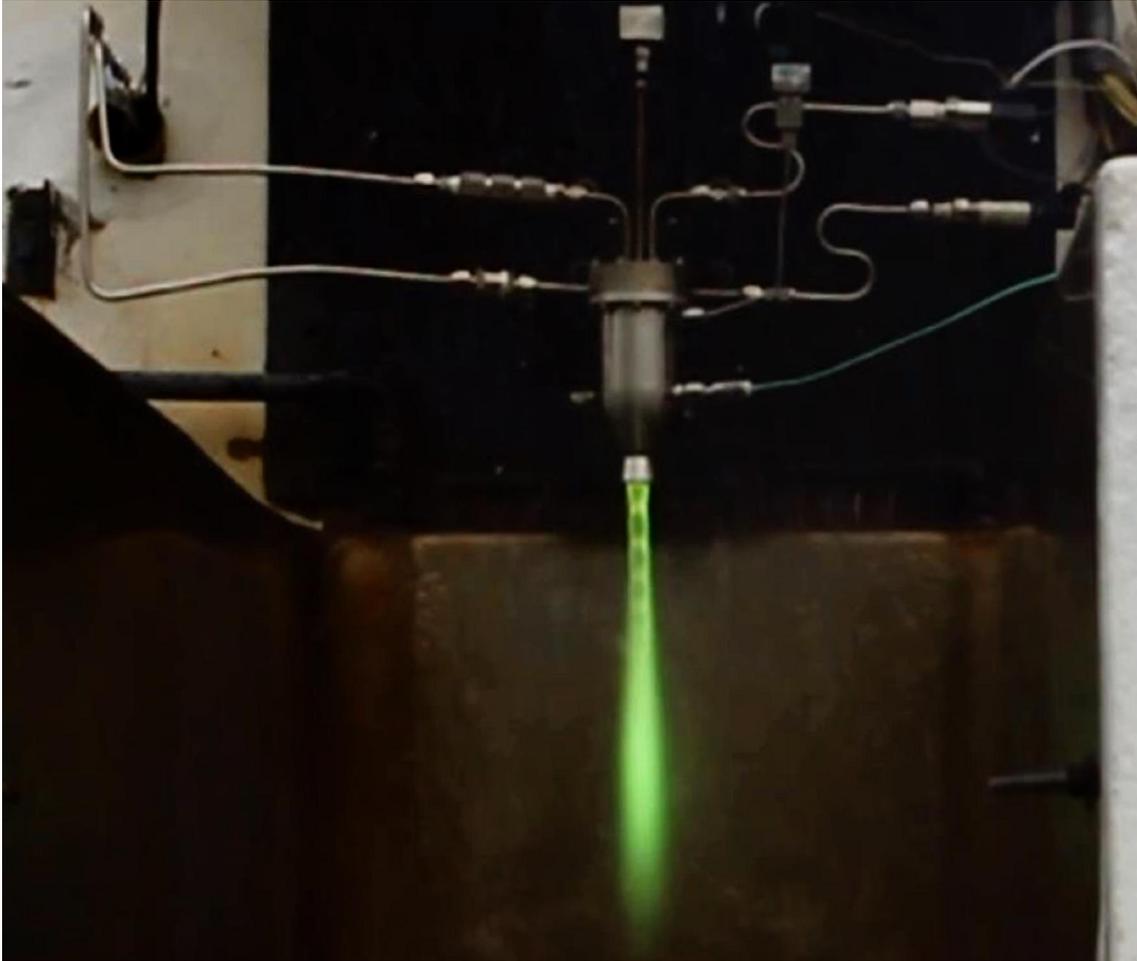


Figura. Imagem do propulsor em funcionamento.

Descrição detalhada da invenção: Na prática foi observado que o H_2O_2 não é hipergólico com a maioria dos compostos orgânicos. Normalmente é necessário o uso de aditivos ao combustível, tais como: catalisadores, promotores e soluções tampão, de modo que a reação seja factível apresentar baixo atraso de ignição em baixas temperaturas. Sendo assim, inicialmente, foram realizados testes empregando o H_2O_2 e a etanolamina promovida com diferentes sais como catalisador, para verificar a atividade destes sais na hipergolicidade da reação. O processo de indução da reação se baseia na decomposição energética do H_2O_2 concentrado, promovendo a vaporização e a atomização do combustível pela liberação de calor, até a autoignição do sistema. A velocidade deste evento está relacionada ao caráter altamente reativo e ao grau de miscibilidade entre H_2O_2 e o combustível utilizado.

Os sais: nitrato de cobalto, acetilacetonato de níquel, permanganato de potássio, nitrato de ferro, acetato de cobalto, sulfato de manganês, nitrato de chumbo, acetato de manganês, nitrato de manganês, cloreto de cobre e nitrato de cobre, sendo este último àquele que apresentou maior eficiência na complexação com a etanolamina e na decomposição do H_2O_2 . Depois de definido o sal que apresentou o melhor desempenho na reação, foi determinado o teor deste sal e a concentração ótima de etanol na mistura etanol/etanolamina. Estudos revelaram que o combustível que apresentou o melhor desempenho foi aquele com a composição mássica contendo: 61% de etanolamina e 30% de etanol e 9% de nitrato de cobre. Este combustível é totalmente miscível e hipergólico com o H_2O_2 90%, apresentando um tempo de indução de 13 ms, enquanto que apenas a etanolamina com os mesmos teores de cobre apresentou tempos de indução nesta reação superiores a 36 ms. O H_2O_2 90% e o etanol/etanolamina/ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ foram testados como par hipergólico em um motor foguete com as seguintes condições de projeto: pressão de câmara de 5 bar, empuxo teórico de 50 N, pressão externa de 0,96 bar e eficiência global de 94%, vazão total de 32 g/s, razão oxidante/combustível de 3,7, velocidade característica de 1445 m/s e impulso específico de 157 s. Os resultados experimentais foram muito similares aos de projeto. Os cálculos também identificam que a adição de etanol incrementa a eficiência do combustível, elevando o impulso específico do sistema com apenas etanolamina de 166 s para 170 s quando misturada ao etanol. A comparação da densidade impulso específico do par hipergólico H_2O_2 90% e o etanol/etanolamina/ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ($223,6 \text{ kg}\cdot\text{s}/\text{m}^3$) com aquele mais frequentemente utilizado, o tetróxido de nitrogênio e a monometilhidrazina ($237,4 \text{ kg}\cdot\text{s}/\text{m}^3$), mostra que o combustível proposto neste trabalho é bastante competitivo do ponto de vista de desempenho quando utilizado como par hipergólico do H_2O_2 . Já do ponto de vista ambiental e de custos não há comparação, pois o H_2O_2 , a etanolamina e o etanol não são tóxicos e são encontrados no mercado com valores muito abaixo dos propelentes tradicionais.